

True- Oblique- Orthomosaik aus Schrägluftbildern zur Extraktion von 3D-Geoinformationen

ALEXANDER WIEDEN & MAGDALENA LINKIEWICZ

Im Zuge dessen wurde 2009 das modulare Luftbild-Kamerasystem MACS (Modular Airborne Camera System) entwickelt, welches in einer Ausführung Obliqueaufnahmen bereitstellt. Weiter wird ein Auswertekonzept erarbeitet, welches auf klassische Analysemethoden aus dem Bereich der digitalen Bildverarbeitung und der Geoinformatik basiert, um neue Datenprodukte aus Obliquebefliegungen semiautomatisch zu generieren. Das Potential dieser Methode für die Extraktion von Gebäudegeometrie und die Erfassung von semantischen Geoinformationen wird in einem Fallbeispiel erläutert.

1 Einleitung

Die Anforderungen an photogrammetrische Systeme sind in den letzten Jahren gewachsen. Das Bedürfnis, nicht nur einen 2D/ -2,5 -Blick auf die Welt zu haben, nimmt zu. Die Abteilung Sensorkonzepte und Anwendungen im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt betrachtet heute photogrammetrische Sensorkonzepte aus der Perspektive der Anwender und Nutzer. Dabei zeigten sich Schwerpunkte im Bereich der Flexibilität und der Effektivität zwischen Anforderungen und Kosten der Systeme. Im Zuge dieser Erkenntnis entwickelte das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt das Modular-Airborn-Kamerasystem (MACS). Dieses Kamerasystem zeichnet sich durch ein modulares und flexibles Konzept aus, welches an spezifische Aufgabenstellungen und Anforderungen angepasst und für sie erweitert werden kann. Die Flexibilität dieses Systems sollte kosteneffizient sein und somit für Nutzer erweiterte Möglichkeiten in speziellen Anwendungsfeldern bieten.

Die Aufnahme von Schrägluftbildern unterscheidet sich wesentlich von klassischen Aufnahmen von Luftbildern. Der photogrammetrische Normalfall bezieht sich auf die automatisierte photogrammetrische Auswertung von Senkrechtaufnahmen. Für diesen Fall existieren hoch automatisierte Algorithmen zur Ableitung von photogrammetrischen Produkten wie dem digitalen Oberflächenmodell und dem Orthophoto. Ebenso existieren für diese Datenprodukte robuste und effektive Algorithmen im Bereich der Klassifizierung und Segmentierung

Photogrammetrische Obliqueaufnahmen bilden im Gegensatz zu bisherigen photogrammetrischen Aufnahmen die Welt aus einer Oblique-Perspektive ab. Der Vorteil dieser Aufnahmen liegt in der Erweiterung der Perspektive. Diese Aufnahmen erfassen in urbanen Gebieten Fassaden von Gebäuden und in geomorphologisch erhabenen Bereichen Hänge und Steilwände. Gerade in den letzten Jahren wurden hierfür einige photogrammetrische Kamerasysteme entwickelt. Von rotierenden 3-Kopf-Systemen wie AOS (Wiedemann, 2011), über das 4-Kopfsystem DigiCam Oblique bis zu 5-Kopfsystemen wie DiGiCam Penta (Petrie, 2008) und dem ersten System von Pictometry (Pictometry, 2007).

- 1) Alexander Wieden, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Einrichtung Optische Informationssysteme, Sensorkonzepte und Anwendungen, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin, Email: alexander.wieden@dlr.de
- 2) Magdalena Linkiewicz, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Einrichtung Optische Informationssysteme Sensorkonzepte und Anwendungen, Rutherfordstraße 2, 12489 Berlin, Email: magdalena.linkiewicz@dlr.de

Vorwiegend wurden diese Systeme für die Bereiche der Fassadentexturierung, Denkmaldokumentation oder auch Monitoring eingesetzt.

Photogrammetrische Methoden, diese Aufnahmen vorwiegend automatisch auszuwerten, stellen bis heute ein ungelöstes Problem dar. Zum einen liegt dies an der besonderen Abbildung und zum anderen an der Komplexität der Datenprodukte. Obliquedaten stellen den Anspruch dreidimensionale Daten zu erzeugen. Dies bedeutet, dass die herkömmlichen Datenprodukte aus Luftbildern, wie das digitale Oberflächenmodell und das digitale Orthomosaik aufgrund Ihrer dimensional Beschränkung nicht mehr ausreichen.

Eine Lösungsmöglichkeit bietet die dreidimensionale Punktwolke. Diese kann aufgrund Ihrer Eigenschaften für eine X, Y- Koordinate mehrere Z Werte Abbilden. Ein Nachteil dieser dreidimensionalen Punktwolken ist die Verfügbarkeit von methodischen Ansätzen. Die Herausforderung ist der Weg von generischen 3D-Daten zu semantischen und topologischen 3D-Daten. Die Komplexität, generische 3D-Informationen in topologische und hierarchische Beziehungen zu setzen, scheint unlösbar.

Die Generierung von 3D-Punktwolken ist die komfortabelste Lösung, birgt jedoch keine robusten Lösungsmöglichkeiten für die Ableitung von geometrischen und semantischen Objekten. Ein Grund hierfür ist die Komplexität von 3D-Punktwolken. Da die geometrische Information neben der, wenn vorhanden, radiometrischen Information der Nachbarpunkte einziger topologischer Indikator ist müssen im dreidimensionalen Raum bis zu 26 Parameter geprüft werden. Im Gegensatz dazu werden in zweidimensionale Beziehungen maximal 8 Nachbarinformationen und in eindimensionalen Beziehungen maximal zwei Nachbarinformationen benötigt (siehe Abbildung 1)

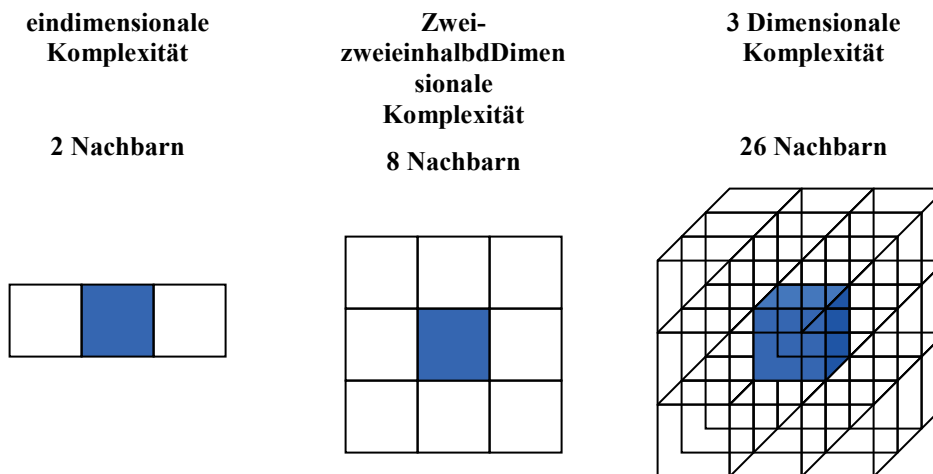


Abbildung 1 dimensionale Steigerung der Komplexität

Im Bereich der Photogrammetrie und Fernerkundung wird der Begriff „3D- Rekonstruktion“ im Einklang mit digitalen Oberflächenmodellen oder digitalen Geländemodellen genannt. Der Ausdruck 3D ist erst mit der Funktion $Z = f(X,Y,Z)$ erfüllt. Diese Funktion lässt für einen X-

und Y-Wert mehrere Informationen in der Z-Ebene zu (Luhmann, 2006, Nahbereichsphotogrammetrie, S. 74).

Bei Betrachtung der heutigen Datenprodukte im Bereich der Fernerkundung und Geowissenschaften wird klar, dass die methodische Bearbeitung von zweidimensionalen Rasterdaten, wie Bildmosaiken und Oberflächenmodelle, für viele Fragestellungen verschiedene Lösungsmöglichkeiten bereithält. Klassische Verfahren wie Segmentierung, Vektorisierung und Klassifizierung werden erfolgreich im Bereich der Geowissenschaften eingesetzt.

2 Methodischer Ansatz

Um Methoden der Digitalen Bildverarbeitung im Zusammenhang mit Obliqueaufnahmen nutzen zu können ist es notwendig Datenprodukte zu erzeugen, welche sich methodisch auswerten lassen und ihren Anspruch der Dreidimensionalität nicht verliert.

Einen möglichen Ansatz stellt die Minimierung der Dimensionalität durch Mehrfachabbildungen dar. Hierzu wird eine dreidimensionale Fragestellung durch mehrere zweidimensionale Abbildungen gelöst (siehe Abbildung 2)..

Im Bereich der Obliqueaufnahmen wird der dreidimensionale Objektraum durch mehrere zweidimensionale Projektionsebenen abgebildet (siehe Abbildung 3). Das bedeutet, dass von einem Objekt aus unterschiedlichen Ansichten metrische zweidimensionale Abbildungen berechnet werden, welche den klassischen Datenprodukten, dem digitalen Oberflächenmodell und dem digitalen Orthomosaik, sehr ähnlich sind. Hierfür wird nicht für jedes Bild eine eigene Tiefenkarte erzeugt, sondern ein lokaler Raum definiert, welcher durch eine Anzahl von Aufnahmen, einem Cluster, optimal abgebildet wird.

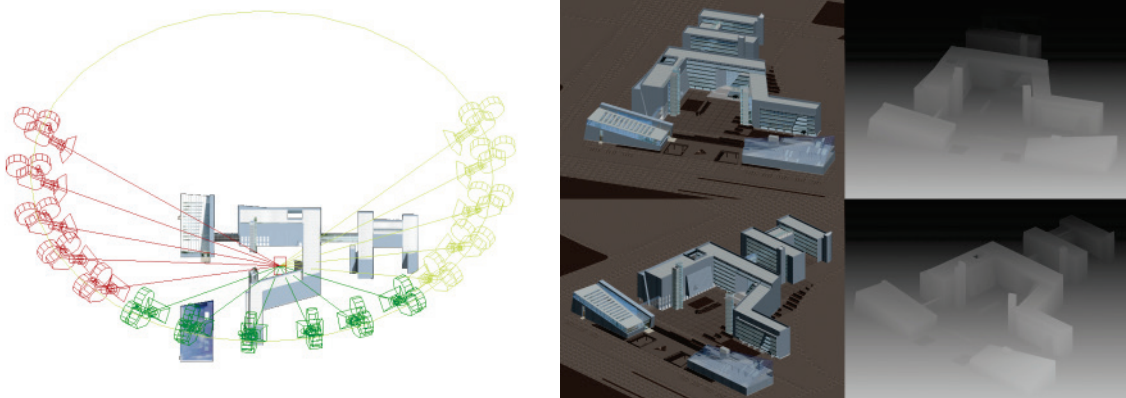


Abbildung 2 zwei lokale Datenprodukte aus rot und grünen Clustern

Ein Vorteil dieser lokalen Räume ist die die Abbildung von dreidimensionalen Fragestellungen durch eine geringe Anzahl von Datensätzen. Die optimierte Definition der lokalen Räume hängt von den Eigenschaften der Matching-Algorithmen ab.

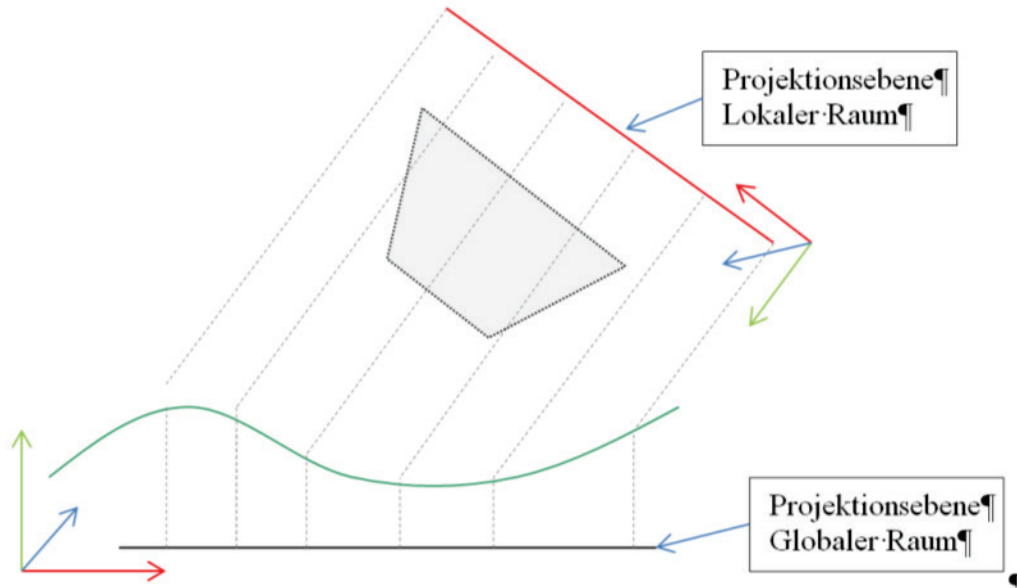


Abbildung 3 2D- Orthoprojektion und Lokale Orthoprojektion

Um ein digitales Oberflächenmodell aus einem Obliquecluster abzuleiten wird die Hauptausrichtung und der Schwerpunkt des Clusters bestimmt. Die Hauptausrichtung des Schwerpunkts eines Clusters ähnlicher Aufnahmegeometrien bestimmt die Ausrichtung des Lokalen Raums. Um die Auswirkungen von Matching-Algorithmen auf die inhärenten Bildinhalte zu evaluieren, wurden paarweise die Bildinformationen zwischen zwei Bildern nach Merkmalen untersucht und verglichen. Als ähnliche Aufnahmegeometrien werde Bilder mit einer maximalen Rotationsänderung von 20° bezeichnet. Ist das Mittel aller Beobachtungen bestimmt, werden die Rotationswinkel in die Rotationsmatrix eingesetzt die Hauptrotationsmatrix (norm) zu definieren.

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cdot \cos \kappa & -\cos \varphi \cdot \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \varphi \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa & \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa & -\sin \omega \cdot \cos \varphi \\ \sin \varphi \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \cos \kappa & \sin \omega \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa & \cos \omega \cdot \cos \varphi \end{pmatrix}$$

Die Hauptrotationsmatrix ermöglicht eine Transformation homologer Koordinaten von einem Globalen Raum in einen lokalen Raum.

$$A = R_{(norm)}^t \cdot R_{(org)}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = R_{(norm)}^t \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Die Normierte Rotationmatrix wird mit den Näherungswerten der originalen Bildrotation aller Bilder eines Clusters multipliziert um die Rotation im Lokalen Raum zu berechnen. Die Koordinaten der Projektionszentren müssen durch die Bedingung der Kollinearitätsgleichung ebenfalls mit der Normierten Rotationsmatrix in den Lokalen Raum überführt werden. Diese Haupttransformation wird für die Normierung der Koordinaten durchgeführt um extreme Wertebereiche zu ausschließen. Die Normierung der Projektionszentren wird wie die Rotationswinkel durch das Mittel aller Beobachtungen eines Clusters bestimmt.

3 Umsetzung

Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt wurde ein Modular-Kamerasystem (MACS) entwickelt. Dieses Kamerasystem zeichnet sich durch einen flexiblen Aufbau aus, wodurch den verschiedenen Anforderungen und Fragestellungen durch die Anpassung von Sensoren und Kameramodulen begegnet werden kann. Im Frühjahr 2011 wurde das MACS durch zwei Sensorköpfe erweitert, welche eine Oblique-Aufnahme realisieren sollten. Das System MACS-Oblique verfügt über fünf synchron auslösende Kameraköpfe (Lehmann, 2011).

Im System MACS-Oblique sind drei senkrecht schauende sowie zwei Oblique-Kameras verbaut. Die senkrecht schauenden Kameras bestehen aus einem „Geo-CAM“- und zwei hochauflösenden „DOM-CAM“-Modulen.

Das GeoCam-Modul ist mit einem 50mm-Objektiv und mit einem Infrarotfilter ausgestattet. Diese Konfiguration führt durch geeignete Aufnahmegeometrie zu einer stabilen Lage und Positionsbestimmung durch klassische Aerotriangulationsverfahren. Darüber hinaus bietet der Infrarotfilter die Möglichkeit Infrarotaufnahmen für Klassifikationsaufgaben bereitzustellen.

Das DOM-CAM-Modul besteht aus zwei Kameraköpfen mit 70mm-Objektiven. Diese Module bilden RGB-Informationen durch klassische Senkrechtaufnahmen ab. Um eine Maßstabsänderung durch Verkipfung der Sensoren zu umgehen, wurden die beiden Module exzentrisch über dem Sensor gelagert. Dies hat zur Folge, dass die Bildaufnahmen, ähnlich UltraCAM und DMC, mit verschifteten Objektiven ausgestattet sind. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt in einer höheren Abdeckung sowie der homogenen Maßstäbe in den Aufnahmen.

Für diesen Test wurde das Kamerasystem um zwei 70mm-Kameramodule, ObliqueCam V und ObliqueCam R, erweitert. Die Ausrichtung der schrägblickenden Kameramodule unterlag hierbei definierten Zwängen. Die ObliqueCam R verkippt um 30° quer zur Flugrichtung zur rechten Seite. Die ObliqueCam V verkippt um 40° in Flugrichtung. Die 40°-Verkipfung erzeugt durch

das 70mm Objektiv und eine größere Entfernung zum Objekt jedoch eine ähnliche Abdeckung wie die Nadiraufnahme (siehe Abbildung 4).

Eine vollständige Oblique-Aufnahme kann mit einer alternierenden Befliegung gewährleistet werden. Durch eine alternierende Befliegung mit 50% Überlappung zwischen den Streifen ergeben sich Aufnahmen aus allen vier Richtungen.

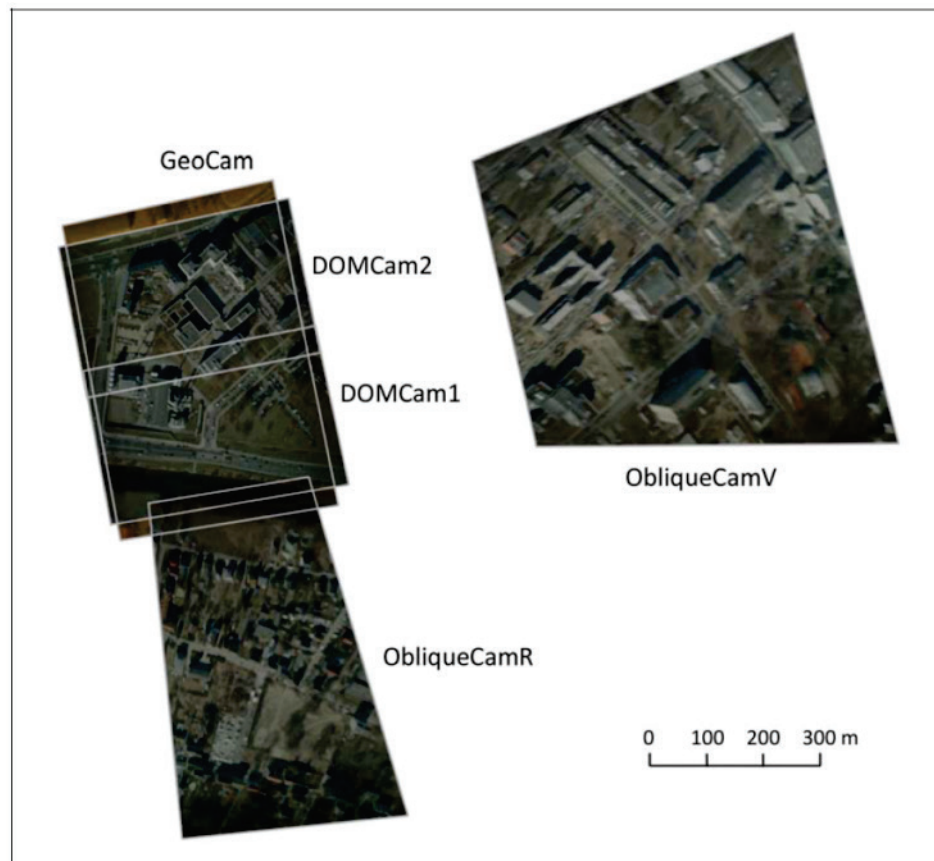


Abbildung 4 Aufnahmegeometrie MACS Oblique Kamerasystem

Nach Analyse der Aufnahmekonstellationen entstanden unter Bedingung von ähnlichen Aufnahmegeometrien mehrere Aufnahmebündel.

Als Kriterien für die Cluster der Aufnahmen wurden die Winkelinformationen des Inertialsystems genutzt. Nach Betrachtung der Initialdaten konnten alle Flugstreifen in sich zu einem Cluster zusammengeführt werden. Darüber hinaus wurden auch die Aufnahmen in ein Cluster gebündelt, welche aus unterschiedlichen Flugstreifen aufgenommen, wurden jedoch die gleiche Aufnahmerichtung aufwiesen.

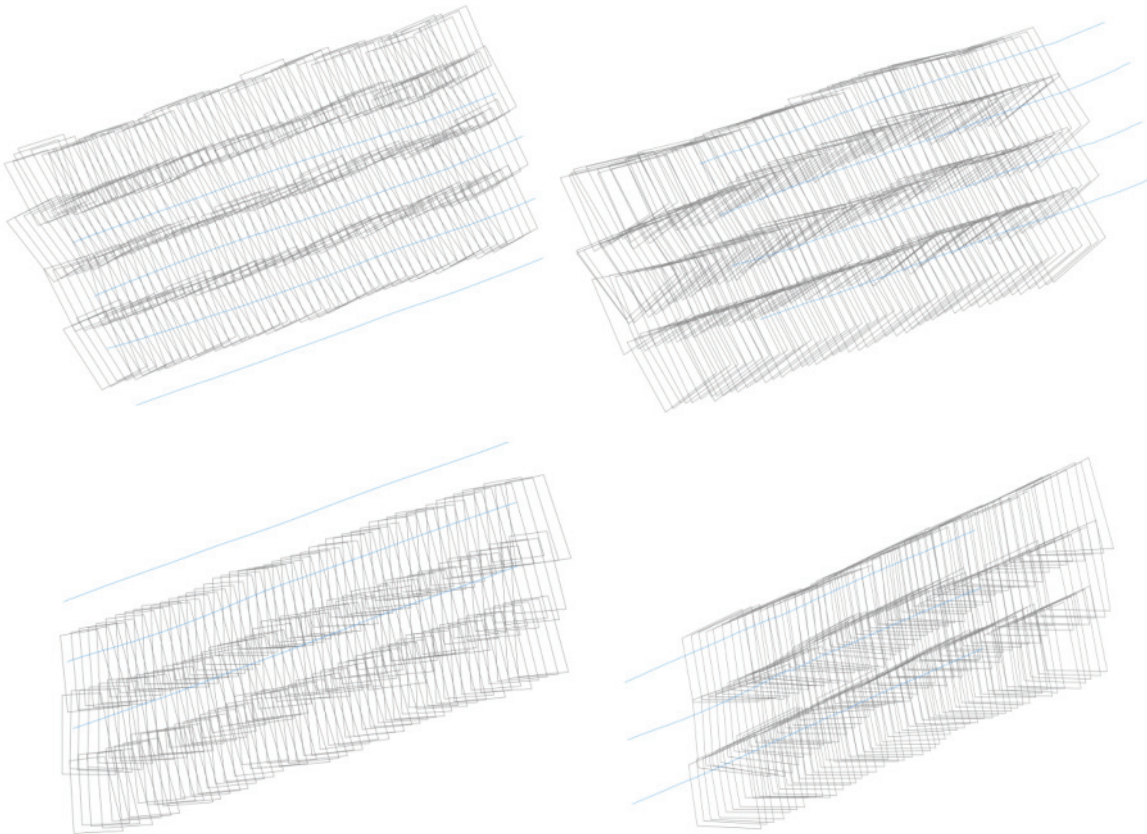


Abbildung 5 Darstellung der Footprints vom Clusterergebnis der ähnlichen Aufnahmegeometrien

Die Abb. 39 zeigt ein Teilergebnis der zusammengefassten Aufnahmen. Oben-links wurden die Aufnahmen aus Streifen 1; 3; 5 der nach rechts schauenden Kamera (ObliqueCam R) zusammengefasst. Oben-recht die Kamera ObliqueCam R mit den Streifen 1; 3; 5, unten-links die Streifen 2; 4; 6; der ObliqueCam V und unten-rechts die Streifen 2; 4; 6 der ObliqueCAM V.

Insgesamt entstanden so 7 Cluster der Obliquedaten für die Befliegung sowie den klassischen Normalfall der GeoCAM.

Nachdem alle Parameter der äußeren Orientierung nun in den lokalen Raum transformiert wurden, können 2,5D-Informationen in Form von Tiefenkarten berechnet werden. Um zu gewährleisten, dass die Komplanaritätsbedingung erfüllt wird, bietet es sich an, die Epipolargeometrie zu prüfen. Die Epipolargeometrie beschreibt den geometrischen Zusammenhang zwischen zwei Aufnahmen. Dabei bildet die Epipolarlinie eine Gerade von der optischen Mitte einer Kamera durch eine definierte Position im dreidimensionalen Raum aus der Sicht einer anderen Kamera ab. Dies bedeutet, wird ein Punkt in einem Bild definiert, so sollte dieser durch die Epipolarlinie in allen anderen Bildern geschnitten werden.

In Abbildung 6 wird für einen Punkt die Epipolarlinie beispielhaft visualisiert. Dabei wird in einem Referenzbild (oben links) ein Punkt identifiziert. In allen Bildern, welche nach der Komplanaritätsbedingung diesen Punkt ebenfalls abbilden müssen, wird eine Epipolarstrahl (gelb) visualisiert. Dadurch lässt sich prüfen, ob die Transformation unter Berücksichtigung der

Komplanaritätsbedingung durchgeführt wurde. Erst wenn alle Strahlen den gesuchten Punkt schneiden, darf mit der Extraktion der Tiefeninformation begonnen werden.

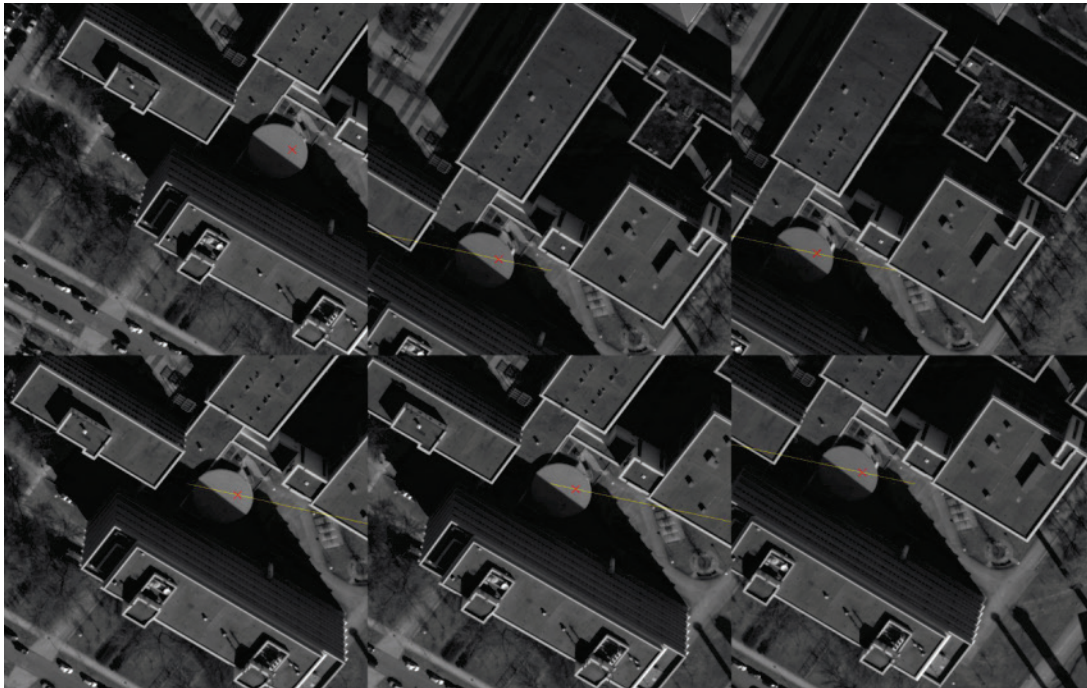


Abbildung 6 Kontrolle der Epipolargeometrie

Nachdem für jeden definierten lokalen Raum die Transformation der Orientierungsparameter durchgeführt wurde, können Tiefenkarten extrahiert werden. Für die Testbefliegung der MACS über Adlershof wurden sieben lokale Räume und ein globaler Raum visualisiert. In der Abb. 41 sind Ausschnitte der Tiefenkarten und der True-Orthoprojektion abgebildet (unten rechts klassischer Fall).

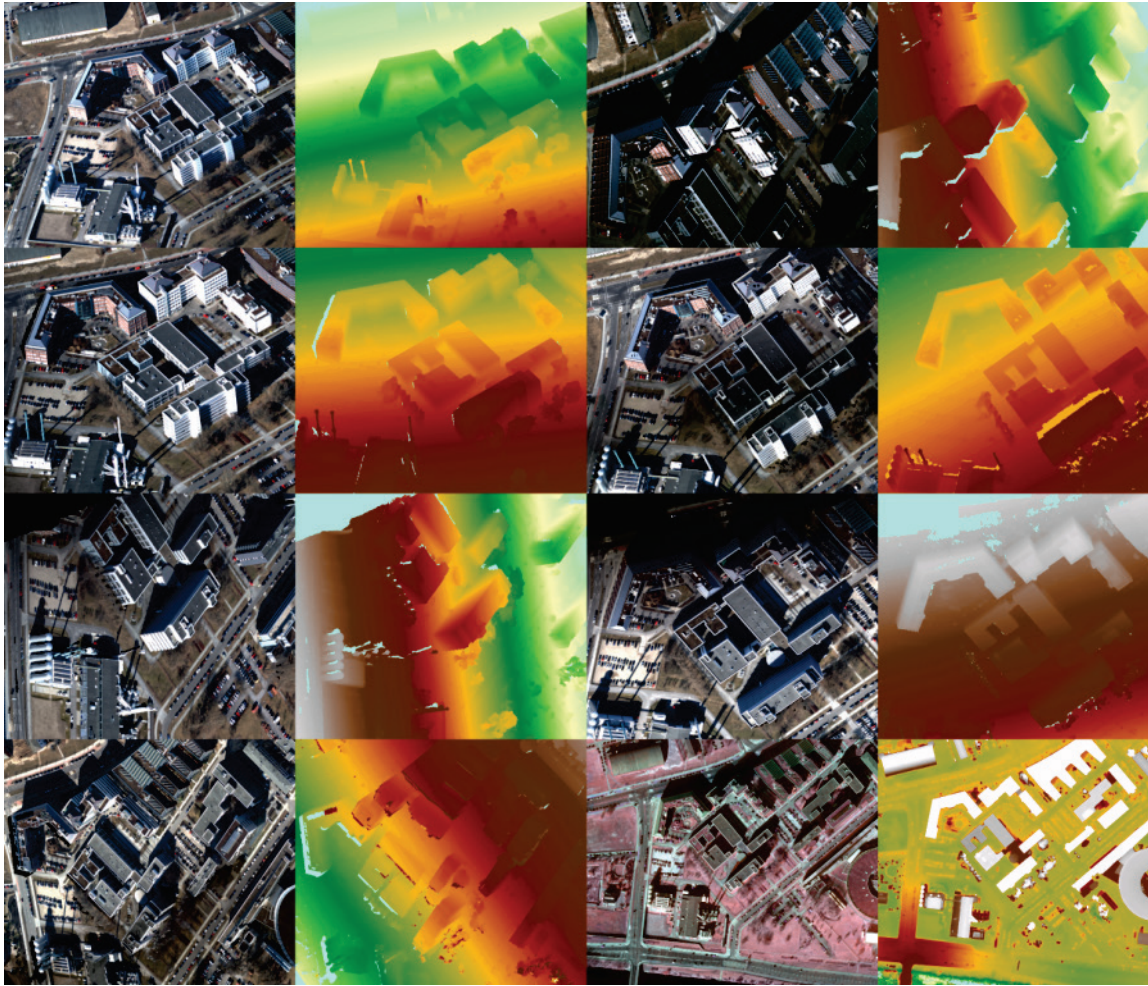


Abbildung 7 Lokale Tiefenkarten und TrueOrthobildprojektionen

Diese Datenprodukte haben gleiche Eigenschaften wie klassische Orthobilder und Oberflächenmodelle aus Luftbildern oder Satellitenbildern. Die Oblique-Tiefenkarten sind Co-registriert zu den Obliquetrueorthobildern und beide Datensätze sind im Lokalen Raum georeferenziert. Aufgrund der definierten Transformationsvorschrift stehen alle „Lokalen“ Sichten mit dem Globalen Bezugssystem in Beziehung und daher mathematisch auch miteinander. Um diese gewonnen Informationen nicht nur visuell nutzen zu können, muss die Transformation ebenso von einem lokalen zum globalen Raum durchführbar sein. Hierzu müssen die entstandenen zweidimensionalen Informationen wie Punkte, Linien und Flächen, die Tiefeninformation des Oberflächenmodells übernehmen. Die somit entstehenden 2,5D-Koordinaten lassen sich mit der normierten Rotationsmatrix und dem normierten Translationsvektor in den globalen Raum überführen.

$$\text{Information } (X, Y, Z)_{\text{glob}} = (\text{Information } (X, Y, Z)_{\text{lok}} * R_{\text{norm}}) + T_{\text{norm}}$$

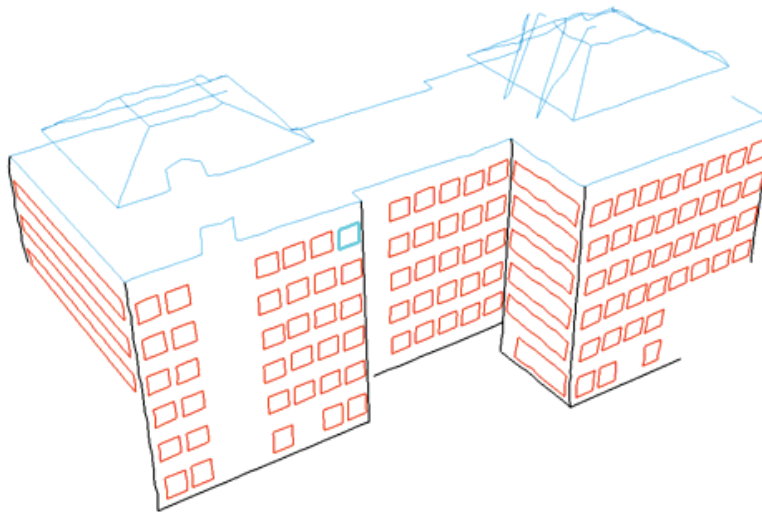


Abbildung 8 transformierte 3D Gebäudegeometrie aus lokalen Raum

Als weiteres Beispiel wurden die lokalen Tiefeninformationen in eine Ascii-Punktdatei überführt und mit den RGB-Informationen texturiert. Anschließend wurden die einzelnen lokalen Räume durch die Transformationsvorschrift in den globalen Raum transformiert. Die verschiedenen lokalen Räume erzeugen durch die Fusion im 3D- Raum eine zusammenhängende 3D-Punktwolke.



Abbildung 9 Fusionierte 3D Punktwolke aus 4 lokalen Räumen

4 Fazit/Ausblick

Die automatische Gebäudeextraktion ist nach wie vor ein aktuelles Thema. Gerade die Bereiche der Computer-Vision und Geoinformatik arbeiten akribisch an diesem Thema und sind durch unterschiedlichste Ansätze bemüht, diese Fragestellung zu lösen.

Die Nutzung von Schrägluftbildern für die Extraktion von Geoinformationen birgt einige Hindernisse. Besonders die projektiven und perspektivischen Einflüsse. Um die Nutzung von Schrägluftbildern den Geoinformationswissenschaften zugänglich zu machen, war es das Ziel, Datenprodukte in Form von Digitalen Oberflächenmodellen und Orthoprojektionen der Bilddaten für Schrägansichten abzuleiten. Um diese Datenprodukte generieren zu können, wurde der mathematische Zusammenhang zwischen globalen und lokalen Räumen definiert. Unter konsequenter Berücksichtigung der Komplanaritätsgleichung konnten so lokale Datenprodukte für weitere Analysen erzeugt werden. Das Clustern von Schrägluftbildern mit ähnlichen Aufnahmerichtungen ermöglicht das ableiten von True-Oblique- Oberflächenmodellen und True-Oblique- Bildmosaiken. Die neuartigen Datenprodukte können aufgrund klassischer Methoden analysiert werden und somit erste Ergebnisse für die semantische Rekonstruktion von Gebäudedaten aufzeigen.

Darüber hinaus wurde die Rückführung extrahierter Geoinformation in den ursprünglichen Raum aufgezeigt, womit die Nutzung der geometrischen Lage sichergestellt wurde.

Generell konnten aufgrund des Konzepts neue Datenprodukte in Form von Tiefenkarten und Orthobilder ähnlich der klassischen Datenformate erzeugt werden. Inwieweit sich diese Daten eignen um geometrische Aspekte von Gebäuden vollständig und robust, semantisch wie topologisch abzuleiten, müssen weitere Untersuchungen zeigen. Speziell die klassischen Methoden der Fernerkundung und die Methoden der digitalen Bildverarbeitung könnten einen wesentlichen Vorteil gegenüber der 3D-Segmentierung von Punktwolken mit sich bringen.

5 Literaturverzeichnis

Albertz, J., & Wiggenhagen, M. (2009). Taschenbuch zur Photogrammetrie und Fernerkundung = Guide for photogrammetry and remote sensing / Albertz/Wiggenhagen. Bearb. von Jörg Albertz ; Manfred Wiggenhagen (5. Ausg.). Heidelberg ; München ; Landsberg ; Frechen ; Hamburg: Wichmann .

Brenner, Haala, & Fritsch. (2001). Towards fully automated 3D city model generation. In Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images III.

Haala, N. (1996). Gebäuderekonstruktion durch Kombination von Bild- und Höhendate. Universität Stuttgart, Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie . Stuttgart: Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Jähne, B. (2005). Digitale Bildverarbeitung. (6. überarbeitete und erweiterte Auflag).

Konecny, K. (2011). Evaluierung der Nutzbarkeit von Punktwolken aus Schrägluftbildern zur Kartierung von Grundrisselementen. Berlin: Beuth Hochschule für Technik Berlin.

Kraus, K. (1996). Photogrammetrie - Verfeinerte Methoden und Anwendungen (2 Ausg., Bd. Bd. 2.). Berlin: Berlin : de Gruyter.

Kraus, K. (2004). Photogrammetrie - Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen (7., vollst. bearb. und erw. Aufl. Ausg.). Berlin: Berlin ; New York : de Gruyter .

Lehmann, F. a. (2011). MACS - Modular Airborne Camera System for generating photogrammetric high-resolution products. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 435-446.

Luhmann, T. (2006). Nahbereichsphotogrammetrie. Berlin und Offenbach: Wichmann.

Microsoft. (April 2007). <http://maps.live.com>.

Petrie, P. G. (2008). Systematic Oblique Aerial Photography Using Multiple Digital Cameras. VIII International Scientific & Technical Conference, (S. 22). Porec, Croatia.

Pictometry. (April 2007). Homepage of Pictometry Inc. Von <http://www.pictometry.com/>. abgerufen

Qiming Zhou, Q. Z. (2004). Error Analysis on Grid-Based Slope and Aspect Algorithms. PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, 957-962.

Wewel, F. a. (1998). Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie.

Wiedemann, A. (Januar 2011). <http://www.bsf-swissphoto.ch>. Abgerufen am Januar 2012 von Schrägbildsystem AOS.

Winston, P. (1993). Artificial Intelligence. Addison Wesley.